

交代 成矿作用 及其找矿意义

——几个重要含矿交代建造的研究

■ 赵一鸣 林文蔚 张德全 著
李大新 赵国红 陈仁义



703

■ 北京科学技术出版社

(京) 新登字 207 号

内 容 简 介

本书是我国在交代成矿作用方面研究的第一部专著。本书以交代系列作为指导思想,提出了交代岩的新分类,对几个重要含矿交代建造的地质背景,岩浆岩组合,交代相,分带性,金属组成及成岩成矿作用,地球化学等问题作了深入论述。着重剖析了钙矽卡岩、含铅锌锰质矽卡岩、含金矽卡岩、含金黄铁绢英岩、含铜次生石英岩、含银锡(铜)斑岩有关的交代系列等,实际资料丰富,内容新颖,反映了当前交代成矿作用研究的最新水平。本书可供矿床地质和岩石学专业的地质工作者、科研人员及高等院校师生参考。

交代成矿作用及其找矿意义 ——几个重要含矿交代建造的研究

赵一鸣 林文蔚 张德全 著
李大新 赵国红 陈仁义

责任编辑 舒 群

特约编辑 余澄宇

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南大街 16 号)

邮政编码 100035

海洋出版社印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 244 千字

1992 年 10 月第一版 1992 年 10 月第一次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7-5304-1234-5 / T · 268

定价 10.00 元

前 言

交代作用在自然界十分普遍。它与内生、变质成矿作用关系尤为密切,许多矿床主要以交代方式形成,常伴生广泛和强烈的围岩蚀变现象,形成各类交代岩。这些交代岩石与矿体常形影相随,有着紧密的时空成因联系。矿体本身就是交代作用的产物。研究交代岩的类型、矿物共生组合、分带性及其含矿性,不但能揭示矿床形成的物理化学条件和成岩成矿作用机理,而且还可以为预测隐伏矿体提供重要找矿标志。

由国家自然科学基金和院科学基金共同资助的研究项目(1988—1990)“交代成矿作用及其找矿意义”,旨在通过研究我国几个重要含矿交代建造,来阐明它们产出的地质构造背景、地质特征、交代分带、矿物共生组合、矿物成分、矿化和交代岩之间的内在联系、元素在交代作用过程中的地球化学迁移富集规律和成岩成矿物理化学条件,并确定其对找矿的指示意义。

关于含矿交代建造的研究,在前苏联地学界较为重视,特别是近二十年来,发展很快。从1963年开始,曾在列宁格勒(现圣彼得堡)等地先后召开过五次全苏“交代作用和成矿作用”学术讨论会,会后均出版了有关论文汇编和专著。研究内容包括各类交代建造的产出地质条件、矿物共生组合、交代分带和成岩成矿实验等。为了使理论研究和找矿实践相结合,近几年来,还开展了交代岩地质填图和成矿预测等方面的工作。显然,在这一学科领域中,前苏联走在西方国家的前面。但前苏联学者在这方面的研究也有不足之处,主要是交代岩与成矿的内在联系研究尚不深入,一般对本身交代岩的阐述较多,但各交代建造之间的时空成因联系未作很好研究,对稳定同位素和流体包裹体方面的研究也很少。

在我国,对含矿交代建造方面的研究工作很少,一般主要对个别矿床的围岩蚀变特征进行了一些研究。胡受奚(1980)曾对各种蚀变岩石的特征、矿物共生关系以及与成矿的关系等,作了较系统的显微镜下岩石薄片研究。但总的看,对一些重要含矿交代建造未作系统和深入的研究。因此,本项研究,力图使我国在该学科研究方面有所前进和创新。

本项研究的主要成果是:①提出了一个交代岩(建造)的成因分类方案,划分了有关交代建造和交代相,探讨了交代岩的含矿性、交代系列、交代分带和控制因素。②对目前国际上十分关注的含金矽卡岩建造进行了概括综合分析,提出了含金矽卡岩的评价标志,并对山东沂南矽卡岩金(铜)矿田进行了较深入的剖析研究。③对含铅锌锰质矽卡岩建造进行了补充研究,特别是对锰钙辉石-钙铁辉石系列辉石和硅灰石-钙蔷薇辉石-蔷薇辉石系列似辉石的特征进行了较系统深入的矿物学研究,提供了许多新资料;并着重对内蒙白云诺锰质矽卡岩铅锌矿床的交代系列、分带和生成物理化学条件进行了研究。④通过对山东三山岛金矿床的解剖,对含金黄铁绢英岩建造的地质特征、交代分带、岩石矿物地球化学特征等作了较深入的研究。⑤对我国新发现的一个较特殊的含铜(金)次生石英岩建造——福建上杭紫金山铜矿床的矿化蚀变分带特征和流体包裹体等作了深入研究,建立了交代成矿模式,为我国在类似地质条件下寻找该类型铜(金)矿床提供了重要标志。⑥对含银锡(铜)的石英-黄玉交代岩建造和产于火山岩系中的浅成热液金矿床和有关交代岩作了剖析研究;对与钙矽卡岩有关的交代系列、金属矿化机理进行深入研究。⑦通过矿物共生组合分析,特别是辉石-石榴石矿物对的成分所反映的酸度、氧逸度,探讨了钙矽卡

岩的形成地质构造背景、物理化学条件及其跟踪而来的酸性淋滤阶段交代岩的演化过程和成矿专属性。

本报告由赵一鸣、林文蔚、张德全、李大新、赵国红和陈仁义共同撰写而成。其中：前言，第一、三、四章和结语由赵一鸣执笔，第二章由林文蔚执笔，第五章由张德全执笔，第六章由赵国红执笔，第七章由李大新、张德全执笔，第八章由陈仁义执笔。全文最后由赵一鸣审定。

在野外地质调研过程中，我们曾得到福建、内蒙古、山东、辽宁和云南等省、自治区有关地质队、矿山同志的热情帮助和大力支持。报告中的岩石、矿物化学分析、等离子光谱分析主要由中国地质科学院岩矿测试技术研究所承担；我所黄家山、郭立鹤、陈克樵、杨明明、余静等同志配合本专题进行了X射线、红外吸收光谱和电子探针等的测试研究；沙俊生协助进行了薄片显微照相；报告中的插图主要由王新清绘。作者在此表示深切的感谢。

最后，作者感谢国家自然科学基金委员会和中国地质科学院对本专题研究的共同资助，使我们有可能较顺利地完成任务；本书成稿后蒙翟裕生、於崇文、杜乐天、艾永富教授和芮宗瑶研究员审阅了全文并提出有关宝贵意见，作者对此深表谢意。

目 录

前言	(I)
第一章 交代岩(建造)分类及某些基本概念	(1)
一、交代相和交代建造	(1)
二、交代系列	(1)
三、交代分带	(2)
四、交代岩的分类方案	(3)
五、控制交代建造和交代系列的因素	(7)
(一)岩浆岩和交代岩的成矿专属性	(7)
(二)围岩成分对交代岩类型的控制	(7)
(三)深度	(8)
(四)温度	(8)
(五)流体成分	(9)
第二章 钙矽卡岩的交代系列、生成条件、含矿性及金属矿化机理	(10)
一、各类金属矿化有关岩浆岩的简要特征	(10)
二、岩浆期后早期的碱质交代建造	(15)
(一)钾质交代建造	(15)
(二)钠质交代建造	(17)
三、钙镁质交代作用与钙矽卡岩含矿性	(20)
(一)共生单斜辉石-石榴石氧逸度计	(20)
(二)共生单斜辉石-石榴石酸度计	(22)
(三)我国矽卡岩矿床共生单斜辉石-石榴石的成分特征	(24)
(四)各类金属矿化矽卡岩形成的氧逸度、酸度条件	(28)
四、钙矽卡岩矿床岩浆期后酸性淋滤阶段的交代作用及金属矿化机理	(31)
(一)主要交代建造类型	(31)
(二)金属矿化机理	(35)
五、钙矽卡岩矿床的岩浆建造、交代作用与金属矿化组合	(39)
第三章 含金矽卡岩建造	(42)
一、构造背景	(42)
二、分布	(42)
三、矿床地质特征	(42)
(一)与成矿有关的岩浆岩和围岩	(43)
(二)含金矽卡岩和有关交代岩	(45)
(三)矿体和矿石特征	(46)
四、交代分带	(47)
五、含金矽卡岩矿床的评价标志	(47)
六、山东沂南矽卡岩金(铜)矿田	(48)
(一)地质概况	(48)

(二)矿床地质特征	(49)
(三)含矿交代建造和交代系列	(51)
(四)流体包裹体特征和矽卡岩金矿化生成的物理化学条件	(54)
(五)矿化矽卡岩分带	(55)
第四章 与铅锌矿化有关的锰质矽卡岩建造	(60)
一、含铅锌锰质矽卡岩的分布和产出地质背景	(60)
二、与成矿有关的岩浆岩和围岩	(60)
三、锰质矽卡岩的矿物成分	(63)
(一)锰质单斜辉石	(64)
(二)锰质似辉石	(66)
四、矿体和矿石特征	(67)
五、与锰质矽卡岩建造有关的交代系列和矿化交代分带	(68)
六、含铅锌(银)锰质矽卡岩形成的物理化学条件	(71)
第五章 与斑岩锡矿有关的交代系列和交代建造	(73)
一、概况	(73)
二、含矿斑岩	(74)
三、蚀变分带及交代建造类型	(78)
四、矿化地质特征	(79)
(一)矿化体和矿体	(79)
(二)金属矿物及组分分带	(80)
五、交代建造及矿化的物理化学条件及矿床成因	(81)
(一)温度、盐度和压力	(81)
(二)水热流体的 f_{S_2} 、 f_{O_2} 和 pH	(83)
(三)水热流体中水的来源	(84)
第六章 含金黄铁绢英岩建造	(85)
一、一般地质概况	(85)
二、山东三山岛金矿床	(86)
(一)区域地质背景	(86)
(二)矿床地质特征	(89)
(三)黄铁绢英岩的特征和交代分带	(89)
(四)元素地球化学特征	(92)
(五)形成时的物理化学条件	(95)
(六)硫同位素特征	(95)
(七)氢氧同位素特征	(96)
(八)黄铁绢英岩化与成矿的关系	(97)
结论	(98)
第七章 次生石英岩建造	(99)
一、概述	(99)
二、福建紫金山铜(金)矿床	(103)

(一)矿床地质特征	(103)
(二)交代建造类型及分带性	(107)
(三)矿化和交代岩分带的关系	(120)
(四)次生石英岩建造形成的物理化学条件	(121)
(五)评价标志	(127)
第八章 火山岩系中与浅成热液贵金属矿床有关的交代建造	(130)
一、概述	(130)
二、我国浅成热液贵金属矿床研究现状	(131)
三、吉林五凤金矿床	(131)
(一)区域地质概况	(131)
(二)矿床地质特征	(132)
(三)热液蚀变特征	(135)
(四)流体包裹体研究	(139)
(五)矿床成因讨论	(144)
结语	(148)
参考文献	(150)
图版及其说明	(155)

METASOMATIC MINERALIZATION

—STUDY OF SOME ORE-BEARING METASOMATIC FORMATIONS

Zhao Yiming Lin Wenwei Zhang Dequan

Li Daxin Zhao Guohong Chen Renyi

Contents

Preface	(I)
Chapter 1 Classification of metasomatites and some elementary concepts	(1)
1. Metasomatic facies and metasomatic formations	(1)
2. Metasomatic series	(1)
3. Metasomatic zoning	(2)
4. Classification of metasomatites	(3)
5. Factors controlling metasomatic formations and metasomatic series	(7)
Chapter 2 Metasomatic serites, formation condition and mechanism of metallic mineralization of calcic skarns	(10)
1. Brief characters of magmatic rocks related to the various metallic mineralization	(10)
2. Post-magmatic early alkaline metasomatic formations	(15)
3. Calcic-magnesium metasomatism and associated mineralization of calcic skarns	(20)
4. Metasomatism of calcic skarn deposits in post-magmatic acidic leaching stage and mechanism of the metallization	(31)
5. Magmatic formation, metasomatism and metallic mineralization assemblage of calcic skarn deposits	(39)
Chapter 3 Au-bearing skarn formation	(42)
1. Tectonic environment	(42)
2. Distribution	(42)
3. Geological characteristics of ore deposits	(42)
4. Metasomatic zoning	(47)
5. Evaluation criterion of Au-bearing skarn deposits	(47)
6. Yinan gold (copper) skarn deposit, Shandong Province	(48)
Chapter 4 Manganoan skarn formation related to the Pb-Zn mineralization . .	(60)
1. Distribution of Pb-Zn-bearing manganoan skarn and formation geological settings	(60)

2. Magmatic rocks and country rocks related to the mineralization	(60)
3. Mineral composition of manganoan skarns	(63)
4. Characteristics of ore bodies and ores	(67)
5. Metasomatic series and mineralization metasomatic zoning related to manganoan skarn formation	(68)
6. Formation physicochemical condition of Pb-Zn-bearing manganoan skarn	(71)
Chapter 5 Metasomatic series and metasomatic formations related to porphyry tin deposits	(73)
1. General situation	(73)
2. Ore-bearing porphyry	(74)
3. Alteration zoning and types of metasomatic formation	(78)
4. Geological features of the mineralization	(79)
5. Physicochemical condition of metasomatic formations and mineralization origin	(81)
Chapter 6 Gold-bearing beresite formation	(85)
1. General geological situation	(85)
2. Sanshandao gold deposit, Shandong Province	(86)
Chapter 7 Secondary quartzite	(99)
1. General situation	(99)
2. Zijinshang copper (gold) deposit, Fujian Province	(103)
Chapter 8 Metasomatic formation related to hypabyssal hydrothermal gold deposits in volcanic rock series	(130)
1. General situation	(130)
2. Current research situation of hypabyssal hydrothermal precious metallic deposits in China	(131)
3. Wufeng gold deposit, Jilin Province	(131)
Conclusion	(148)
References	(150)
Plates and their notes	(155)

第一章 交代岩(建造)分类及 某些基本概念

长期以来,在岩石学的分类中交代岩没有独立的位置,只是附在变质岩岩石学或矿床学中顺便提一下。这种情况已远不能适应目前地质科学的发展和找矿工作的急需。交代岩在岩石学分类中没有自己独立位置的原因,一方面是因为其原岩可以是沉积岩、变质岩或岩浆岩,交代岩是上述岩石改造的产物。由于交代作用的强度不同,交代岩和被交代原岩之间有时是渐变过渡的,在不少交代岩中往往保留许多原岩的残留。另一方面,交代岩是岩石和矿石之间的联系枢纽,有些交代岩本身就是矿石。但交代岩的分布常远远超出矿化的范围,因此,往往可作为寻找隐伏矿体的重要找矿标志之一。

交代岩的分类基础应是交代相和交代建造,而分类原则主要应考虑交代作用的成因类型和原岩成分。

一、交代相和交代建造

交代相是一定交代柱中的交代矿物组合——交代岩的总和。交代建造是交代相的总和,形成于一定地质条件的同一个成岩作用,由于温度、深度、溶液性质和原岩成分等条件的不同,有可能形成不同的交代建造(扎里柯夫,1968,1978)。有关交代建造的特征和标志,在一些大的成矿区内的相似地质条件下有可能重现。一定的交代建造伴生有一定的矿化组合,这就是交代岩的含矿性或成矿专属性。

二、交代系列

在研究矿床成矿系列、交代建造和交代相的基础上,赵一鸣等(1985)曾提出交代系列的概念。这是考虑到在一个矿床或成区内,由于成岩成矿地质背景的差异和热流体演化的不同,常形成两个或更多的含矿交代建造或矿床类型,它们在空间、时间和成因上相互之间有着密切的内在联系,因此,可以组成一个交代系列。例如,在云南个旧矽卡岩锡多金属矿床中,可以考虑划分出以下六个主要含矿交代建造:①钙矽卡岩 Sn、W、Cu、(Bi、As、Fe、Au)建造;②镁矽卡岩 Sn、Cu、W、(S、Bi)建造;③钾(钠)质交代岩 W、Sn、Be 建造;④云英岩 Sn、W、(Be、Li、Nb、Ta、TR)建造;⑤氟硼质交代岩 Sn、W、(Be、Li)建造;⑥碳酸盐-萤石-石英交代岩 Sn、Zn、Pb、Cu、(W)建造。又如在斑岩型铜钼矿床中,通常可以见到以下一些交代建造:钾质交代岩建造、石英-绢云母交代岩建造、泥化岩建造和青磐岩建造等,当围岩为碳酸盐岩时,在接触带还可能出现矽卡岩建造。上述两组交代建造从岩体到围岩或在岩体内部,往往具有明显的分带,各自构成一个交代系列。

应该指出,在一个交代矿床中,碱质交代岩和酸性淋滤作用的交代产物以及矿石堆积

经常同时存在，三位一体，酸碱分异，互为因果，符合矛盾的对立统一法则。这也是岩浆热液演化的普遍性规律。在岩浆期后早期碱性阶段，主要形成碱质交代岩、硅碱性石英-长石交代岩和大部分矽卡岩，并伴生部分矿化。随着温度的下降，酸性组分趋向富集，溶液酸度增高，开始了酸性淋滤阶段，形成云英岩、氟硼质交代岩、黄铁绢英岩等，在浅成-超浅成(或火山、潜火山)环境下，可能形成次生石英岩和泥化岩等，与此同时，沉淀了大量金属矿物，造成矿石堆积。在一定条件下还可能形成晚期碱性或次碱性交代产物，如碳酸盐-碱性长石交代岩、青磐岩和沸石交代岩等。

由此可见，交代系列的提出，把不同含矿交代建造(矿床类型)有机地结合起来进行综合分析，作为一个统一的成岩成矿过程中的不同交代产物来研究，将有助于全面地进行矿床评价和成矿预测。

三、交代分带

交代岩区别于其他岩类的重要标志之一是经常具有明显的分带性。柯尔仁斯基(1946)曾经指出：“没有不具分带的交代岩。”在交代柱的各交代带之间的界线一般是清楚的。这种交代带之间界线清晰的现象，以往总是用脉动说来解释，柯尔仁斯基(1955,1969)则用物理化学理论来加以说明。其主要的理论基础，是组分在交代作用过程中差异活动说和相律在交代作用中的应用。

参与交代作用的组分，按其活动性分为两类，一类是惰性组分，它在化学反应中与外界基本上不发生交换；另一类是活动性组分，它与外界体系发生交换，当达到化学平衡时，其化学势趋向均一化，因此，在一定温度下和体积不变时，惰性组分的含量和活动组分的活度就成为平衡因素。根据“组分差异活动”原理，在交代作用过程中，对于完全活动组分来说，体系是开放的；但对惰性组分来说，则体系仍是封闭的，同时稳定矿物的最大数目等于或小于惰性组分的数目，而不取决于完全活动组分的数目，即 $\Phi \leq K_{惰}$ 。这就是所谓柯尔仁斯基相律。它较好地解释了交代作用中经常出现的交代分带现象。

在交代作用的前沿，由于溶液和岩石相互作用，有些组分可从惰性向活动性状态转变，随着交代作用的加强，活动性组分的数目逐渐增多，惰性组分数相应减少，直到最后带中所有组分都变成完全活动性时，可以出现一个沉淀矿物，如石英。根据柯氏的矿物相律，在交代带中减少每一个惰性组分(或增加一个活动性组分)，使体系中的相数(矿物数)减少一个。因此，从弱蚀变岩石到交代最强烈的中心部位，各交代带中矿物的数目将依次递减。最后只剩下由一种矿物组成的单矿物岩带。这样便形成了交代分带(交代柱)。

在研究交代岩时，注意交代分带的完整性，建立有关理论交代柱十分重要，这一方面是交代岩成因分类的重要依据，另一方面，可作为重要的普查标志。在研究普查标志时，一般多是利用直接靠近矿体的最强烈蚀变带，至于有些涉及较大范围的面型蚀变，如与云英岩化作用有关的花岗岩的白云母化、矽卡岩旁侧内接触带广泛发育的碱质交代岩，特别是石英-碱性长石交代岩带，则往往被忽视，或把它们划为自变质作用产物，甚至误定为“白岗岩”等。但若在详细研究交代分带的基础上，建立了交代柱的理论模式后，就能理解许多分布广泛的弱蚀变岩石，往往就是交代柱的外带，有时，某些金属物质正是从这个带

活化迁移出去的，因而是极为重要的远矿蚀变标志。

许多交代建造的交代柱，如镁矽卡岩、钙矽卡岩、云英岩、黄铁绢英岩和青磐岩等，具有各自特色，而每个交代建造中的许多交代柱常具有很大的相似性。

在一个交代矿床中，不同的交代建造往往在空间上又具有一定分带性，在时间上有演化继承性，构成更大范围的交代分带，并和交代系列相一致。

四、交代岩的分类方案

关于交代岩的分类，最近十多年来国外主要是根据有关侵入岩的成分和深度的不同来划分的，并把它们划归为不同类型岩浆岩的热液演化阶段的交代产物（柯尔仁斯基，1985，1966；扎里科夫，1966，1978）。

例如柯尔仁斯基（1969）的分类是（表 1-1）：

表 1-1 近矿交代岩建造分类（按柯尔仁斯基，1969）

原岩或母岩	成 岩 阶 段 （ 按 酸 度 变 化 ）			
	早期碱性阶段	酸性淋滤阶段	晚期碱性阶段	结束阶段
超基性和基性岩	霓石岩	矽卡岩云英岩(?)	滑石菱镁片岩蛇纹岩	无资料
中性和酸性岩	钾长石交代岩矽卡岩	云英岩次生石英岩	黄铁绢英岩泥化岩	青磐岩沸石化岩石
碱性岩和碳酸岩	长霓岩矽卡岩	碳酸岩(?) 矽卡岩	碳酸岩矽卡岩	无资料

扎里科夫和奥缅力年科（1978）的分类，把热液作用按阶段划分成：岩浆期、岩浆期后早期、岩浆期后酸性期（酸性阶段+沉淀阶段）和岩浆期后末期（晚期）碱性期四个，即比柯尔仁斯基（1969）的分类多划分出一个岩浆期。此外，他还考虑到了深度的因素，按深度大小分出三个带：小深度、中等深度和大深度。

上述交代岩分类方案，对于大多数交代岩来说是合适的。但国内外已知的不少交代矿床，未找到与岩浆岩侵入体的直接联系。例如，产于混合岩化变质老地层中的某些镁矽卡岩（铁）矿床和高温热液交代富铁矿床中的许多交代岩，主要与混合岩化或超变质作用过程中的高温气液活动有关；又如产于火山岩地区的某些矽卡岩型矿床和热液交代矿床中的交代岩，主要是在火山气液的作用下生成的。此外，还有部分产于沉积岩（碳酸盐岩或碎屑岩）地层中受断裂裂隙构造控制的低温热液交代矿床，也未发现与岩浆岩的明显联系，但这些矿床的交代成因及其所伴生的大量交代岩是客观存在，无法与岩浆期后热液作用挂上钩。因此，在我们提出的分类中考虑到了上述因素。

表 1-2 列出了六个交代系列组合的有关交代建造及其各自可能包含的主要交代相和伴生矿化组合：

- (1) 与中、基性和超基性岩浆侵入活动有关的交代岩；
- (2) 与中酸性、酸性侵入岩类有关的交代岩；
- (3) 与碱性、偏碱性和超基性、碱性岩浆岩有关的交代岩；

表 1-2 主要交代建造及含矿性分类表

交代系列组合	交代建造	主要交代相	含矿性	实 例	资料来源
1. 与中基性、基性和超基性岩浆侵入活动有关的	镁砂卡岩	尖晶石-镁橄榄石相、尖晶石-钙镁橄榄石相、尖晶石-深绿辉石相、金云母-蛇纹石相、硅镁石相、金云母-透辉石相	Fe (Co), Fe (Ti, P, V), Fe, Cu	山东莱芜、济南, 河南赵案庄	本文
	钙砂卡岩	辉石-石榴石相、石榴石相	Fe, Cu, As, Fe, (Co)	新疆磁海	盛继福, 1981
	钠质交代岩	辉石-钠长石相、阳起石-钠长石相、辉石-(钠)柱石相	Fe, Co, (As)	宁芜地区	陈毓川等, 1982
	角闪石绿泥石交代岩	角闪石相、绿泥石相	Fe, Ti (V), Fe (Ti), Cu, Ni, Cu, Pt		扎里柯夫等, 1978
	蛇纹岩	利蛇纹石相、纤维蛇纹石相、叶蛇纹石相	石棉	四川金厂	
	滑石-碳酸盐交代岩	滑石相、石英-碳酸盐相、绿泥石相	Au, Fe, Cu, Co	乌拉尔、中亚	Кашкай等, 1965
2. 与中性、中酸性和酸性岩浆侵入活动有关的	镁砂卡岩	透辉石-镁橄榄石相、透辉石相、透闪石相、粒硅镁石相、碳酸盐-蛇纹石相	Fe, Cu, Zn, Mo, Fe, Sn, B, Fe, Zn, Au, Cu, Zn, Bi, As	东秦岭, 云南个旧, 粤东	赵一鸣等, 1980, 1982, 1983, 1985, 1987, 1990
	钙砂卡岩	次透辉石相、方柱石相、辉石-石榴石相、辉石(石榴石)-符山石相、硅灰石相、绿帘石-辉石相	Fe, Fe, Cu (Co), Fe, Sn, Cu, Au, W (Pb, Zn), Sn, W, Cu, Fe, Mo, Pb, Zn	湖北大冶, 马坑, 黄岗, 沂南等	
	锰质钙砂卡岩或锰质砂卡岩	蔷薇辉石相、钙蔷薇辉石相、钙锰辉石相、锰铝榴石相、锰钙铁辉石相、锰黑柱石相	Pb, Zn, Ag	福建大排, 马坑, 辽宁八家子, 内蒙白音诺	
	皱纹状云英岩-砂卡岩	萤石-符山石-石榴石相、萤石-符山石-透辉石相、萤石-石榴石相、尖晶石-氟硼镁石-萤石相、萤石-石英相等	Fe, Sn, Be	香花岭, 马坑, 个旧	
	碱质交代岩	辉石-钠长石相、钾长石相、辉石-条纹长石相、钠长石相	Fe, Cu, Li, Ta, Nb, Be, W, Sn, U, Th	大冶, 个旧, 南岭	
	石英-长石交代岩	石英-钾长石相、石英钠长石相、石英-钠长石-钾长石相	Mo, Sn, W	杨家杖子, 澳大利亚北昆士兰	林文蔚, 1985, Taylor, 1979
	云母-长石交代岩	白云母-钾长石相、白云母-萤石相、白云母相	Mo, W, Be	前苏联瑞琴斯克	Грабжев, 1979
	云英岩	白云母-石英相、黄玉-白云母相、萤石-白云母相、黄玉-萤石相、白云母-电气石相	Sn, W, Sn, W, Sn, Mo, Bi, (Be), TR	瑶岗仙, 柿竹园	赵一鸣等, 1987, 1990

续表 1-2

交代系列组合	交代建造	主要交代相	含矿性	实 例	资料来源
	氟硼质交代岩	萤石-赛黄晶相、斧石相、硅硼钙石相、萤石-含硼角闪石相、萤石-电气石相	So, W, Be	个旧香花岭	
	电英岩	电气石-绢云母相、方解石-电气石相、电气石相、石英-电气石相	Mo, Cu, B, Au, As, As, Bi, Sn, Cu	广西宝坛, 内蒙奥尤特	毛景文, 1985 本文
	黄铁绢英岩	绢云母相、碳酸盐-绢云母-石英相	Au, (As), Cu, Pb, Zn, Mo	五道岭, 乌拉尔	本文
	绢英岩	石英-绢云母相、绢云母相、石英相	Cu, Mo, W, Pb, Zn, Mo	金堆城, 五部	本文
	青磐岩	阳起石-绿帘石相、绿泥石-绿帘石相、绿泥石-碳酸盐相	Ag, Au, Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn, Cu, Mo	不列颠哥伦比亚, 内蒙古东部	Heberlein 等, 1984 本文
	泥化岩	高岭土相、蒙脱石相、水云母相、沸石相	Au, Ag, U, Pb, Zn, Cu, Hg, As, W, Au, Fe, S	宁芜庐枞, 吉林五凤	张荣华, 1974 本文
	碳酸盐-碱性长石交代岩	碳酸盐-钠长石相 (爱依西岩)、石英-冰长石相 (古别依岩)	Pb, Zn, Cu, U, U, P, Au, Ag, Zn		Грабсжев 1979; 柯尔仁斯基, 1955
3. 与碱性岩、碱性花岗岩或超基性-碱性岩有关的	长霓岩	霓石-钠长石相、金云母-微斜长石相、霓辉石-钠长石-微斜长石相		科拉半岛、赛马	Тихоненкова 等, 1966; 赵一鸣等, 1990
	刚玉-碱性长石交代岩	尖晶石-刚玉-歪长石相、刚玉-歪长石相、刚玉-磁铁矿-歪长石相	(刚玉)	山东金岭	本文
	镁矽卡岩	尖晶石-镁橄榄石相、金云母-透辉石相、透闪石-金云母相	Fe, Cu, U, Nb, TR	赛马	赵一鸣等, 1990
	钙矽卡岩	硅灰石相、辉石-石榴石相、石榴石相、辉石-绿帘石相			赵一鸣等, 1986, 1990
	碱性矽卡岩	霓石相、钠闪石相、钠铁闪石相、金云母 (钾长石) 相、钠铁闪石相	Fe, Nb, Ta, TR, U, Th, TR	白云鄂博、赛马	本文
	霞石交代岩	霞石-辉石相、辉石-磷灰石-霞石相、霓石-微斜长石-霞石相	Nb, Zr, TR	科拉半岛	Тихоненкова 等, 1966
	碳酸岩	方解石相、白云石相、铁白云石相	Nb, Ta, U, Th, Zr, Nb, Th	科拉半岛	扎里柯夫等, 1978
	云母-碳酸盐交代岩		Nb, Ta, TR, Zr, TR		

续表 1-2

交代系列组合	交代建造	主要交代相	含矿性	实 例	资料来源
4. 与混合岩化或变质热液作用有关的	铁铝榴石-镁铁闪石交代岩	铁铝榴石-镁铁闪石相、铁绿泥石相	Fe	鞍山弓长岭	程裕淇, 1957
	碱性交代岩	霓石相、碱性角闪石相、钠长石相	Fe	前苏联克里沃洛克	Елиссев等, 1961
	石英-长石交代岩	石英-钠长石-微斜长石-碱性角闪石相、石英-钠长石-微斜长石-霓石相	TR, Nb, Ta, Zr, Be U	东西伯利亚、乌拉尔、中亚	Кудрин, 1978
	镁矽卡岩	透辉石相、斜(粒)硅镁石相、金云母-透闪石相、蛇纹石相、金云母相	Fe, B, TR, B, 金云母	辽南、前苏联西伯利亚	赵一鸣等, 1990; 沙贝宁, 1978
	钙矽卡岩	硅灰石相、辉石-石榴石相、辉石-绿帘石相	W	羊鼻山	
	黄铁绢英岩	黄铁矿-绢云母-石英相、绢云母相、铁白云石-石英相	Au, Ag	山东焦家、玲珑、三山岛	本文
	硼酸盐交代岩	硼镁石相、纤维硼镁石相、硼镁铁矿相、电气石相	B, (Fe), TR	辽南, 塔约热	本文 沙贝宁, 1978
5. 与火山或潜火山气液活动有关的	钙矽卡岩	石榴石相、辉石-石榴石相、绿帘石-辉石相	Fe, Zn, Fe	谢尔塔拉、雅满苏	据艾永德等, 1981
	锰质矽卡岩	蔷薇辉石相、锰铝榴石相	Pb, Zn, As	黄岩五部	李嘉增, 1985
	石英-绢云母交代岩	石英-绢云母相、石英相、绿帘石-绢云母相	Cu, Pb, Zn, (Au, Ag)	白银厂、乌拉尔	
	青磐岩	阳起石-钠长石相、绿泥石-碳酸盐相、绢云母-绿泥石相、绿帘石-绿泥石相	Pb, Zn, Ag (Au)	内蒙莲花山、小坝良	本文
	次生石英岩	明矾石相、叶蜡石相、绢云母相、红柱石-刚玉相、石膏相、硅化岩相、迪开石相	Au, Pb, Zn, Cu, Be (Mo)	哈萨克斯坦, 华南、福建紫金山	Накобник 1968 本文
	泥化岩	高岭石相、蒙脱石相、碳酸盐-水云母相、沸石-蒙脱石相	Fe, S, Au, U	外贝加尔湖、高加索	Головин等, 1984
	石英-长石交代岩	石英-钾长石(微斜长石)相、石英-钠长石相		南乌拉尔	
6. 与岩浆岩没有联系的或受区域性断裂控制的	碳酸盐-碱性长石交代岩	钠长石-碳酸盐相、石英-透长石相、石英-钠长石相			
	硅化岩	石英相、碳酸盐-石英相	Sb, Hg, Sb, Hg, Au, Fe	贵州万山场、湖南锡矿山	杨敏之, 1958; 刘焕品, 1985

- (4) 与混合岩体或超变质作用有关的交代岩;
- (5) 与火山或潜火山活动有关的交代岩;
- (6) 与岩浆岩没有明显联系或受区域性断裂控制的交代岩。

每个交代系列组合包括若干个交代系列或亚系列, 并可根据交代矿床产出的地质条件(深度、温度、流体成分和原岩岩性等)的不同来进一步划分。

五、控制交代建造和交代系列的因素

交代系列组合只是列出了可能包含的交代建造。在每一个具体交代系列中, 不总是发育所有交代建造, 而只是由其中的几个交代建造组成, 这主要取决于交代矿床产出的具体地质条件, 如有关岩浆岩和围岩的成分、深度、温度和流体成分特征等。

(一) 岩浆岩和交代岩的成矿专属性

赵一鸣等(1985, 1990)曾讨论了我国矽卡岩矿床岩浆岩和交代岩的成矿专属性问题, 指出一定的岩浆岩组合可能决定一定的交代系列和有关矿化组合。对于不同类型的交代矿床来说, 虽然地质条件更为多样化和复杂, 但总的看, 岩浆岩、交代岩和矿化三者之间的密切关系还是比较清楚的, 交代岩和矿石是成矿热流体演化到一定阶段的产物。

从表 1-2 可以看出, 与中基性、基性和超基性岩浆岩有关的交代系列组合中, 可能包含镁矽卡岩、钙矽卡岩、钠质交代岩、角闪石-绿泥石交代岩、蛇纹石交代岩和滑石-碳酸盐交代岩等, 其伴生矿化主要是铁族元素 Fe、Ti、Co、Ni、Pt、V 和 Cu、As、Au 等。酸性淋滤阶段的交代岩不十分发育, 主要有滑石-碳酸盐交代岩。

与中酸性岩浆岩有关的交代系列组合中, 可能包含的交代建造最多, 除了岩浆期镁矽卡岩, 早期碱性阶段形成的镁矽卡岩、钙矽卡岩、锰质矽卡岩、碱质交代岩外, 酸性淋滤阶段的交代岩大量发育, 如云母-长石交代岩、云英岩、氟硼质交代岩、电英岩、黄铁绢英岩、绢英岩、泥化岩和碳酸盐-碱性长石交代岩等, 伴生的矿化也最丰富多样, 包括 Fe、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Bi、Be、U、Au、Ag 等。

与碱性岩类和超基性-碱性岩有关的交代岩类型较特殊, 有长霓岩、刚玉-尖晶石-碱性长石交代岩、镁矽卡岩、钙矽卡岩、碱质矽卡岩、霓石交代岩和碳酸岩等。其中岩浆期的交代岩较发育, 如前三类交代岩, 碱性矽卡岩中的部分交代相, 如霓石相, 也可能属岩浆晚期的交代产物。属于酸性淋滤阶段的交代建造有云母-碳酸盐交代岩和碳酸岩。该交代系列组合的伴生矿化也较特殊, 主要为 Fe、Nb、Ta、TR、U、Th、Zr。

由此可见, 与岩浆岩有关的交代系列存在着明显的岩浆岩和交代岩的成矿专属性, 随着与成矿有关岩浆岩酸度的增长, 酸性淋滤阶段的交代作用逐渐增强, 交代岩类型和矿化组合也相应变得复杂化和多样化(详见第二章), 与碱性侵入岩类有关的交代岩和矿化又有其特殊性。

(二) 围岩成分对交代岩类型的控制

围岩成分明显影响交代岩的类型。因为交代作用的热流体与围岩相互作用的产物, 在

交代作用过程中岩石的体积不变，一些组分的溶解和另一些组分的沉淀是同时进行的。虽然由于交代作用的结果形成了大量新生矿物，把原岩改造得面目皆非，但许多组分，尤其是惰性组分，却主要是就地取材的，即来自围岩，如 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等，有时也包括 FeO 、 Fe_2O_3 、 MnO 甚至 K_2O 、 Na_2O 。例如，当矽卡岩矿床的围岩为白云岩或白云质灰岩时，可能形成镁矽卡岩；若只有较纯的灰岩或泥灰岩时，则只能形成钙矽卡岩。由富铝矿物（如方柱石、长石类、绿帘石、符山石和钙铝榴石等）组成的交代岩，其原岩一般是侵入岩，火山凝灰岩和泥质碎屑岩等。当围岩中无碳酸盐岩石存在时，即使有岩浆岩和构造等有利条件，一般都不会形成矽卡岩，只可能形成其它有关热液交代岩。

(三) 深度

同一成分的热流体作用于相似成分的围岩时，因深度条件不同，可能形成不同类型的交代建造，例如，在与中酸性、酸性侵入岩有关的交代系列组合中，云英岩出现在中等深度，在浅成条件下可能转化为绢云母-石英交代岩，而在近地表的超浅成条件下又可能变为泥化岩。云英岩和绢英岩、泥化岩一般不可能共存产出。例如，在云南个旧、湖南柿竹园、香花岭等矿床中，未发现有绢英岩或泥化岩建造，而且在浅成中酸性斑岩型铜（钼）矿床中，一般也未见有云英岩产出。

(四) 温度

无论是与侵入岩、火山-潜火山岩或与混合岩化超变质作用热液活动有关的交代作用，都是一个从高温到低温演化的退化作用过程，在不同温度的热液阶段，可能形成不同的交代建造。

表 1-3 列出了一些主要交代建造形成的温度条件：

表 1-3 交代岩形成的温度

阶 段	交 代 建 造	形 成 温 度 (°C)
岩浆期	镁矽卡岩	650—1000
岩浆期后早期碱性阶段	镁矽卡岩	450—700
	钙矽卡岩	400—800
	碱质交代岩	400—650
	锰质矽卡岩	270—450
	云英岩	250—450
酸性淋滤阶段	氟硼质交代岩	200—340
	黄铁绢英岩	180—300
	青磐岩	150—400
	次生石英岩	100—300
	泥化岩	70—250
晚期碱性阶段	沸石交代岩	80—230

注：根据文献资料和作者部分成果综合而成